

特表平6-508449

第6部門第2区分

(43)公表日 平成6年(1994)9月22日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I
G 0 2 B 5/30		9018-2K	
5/124		9224-2K	

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 5 頁)

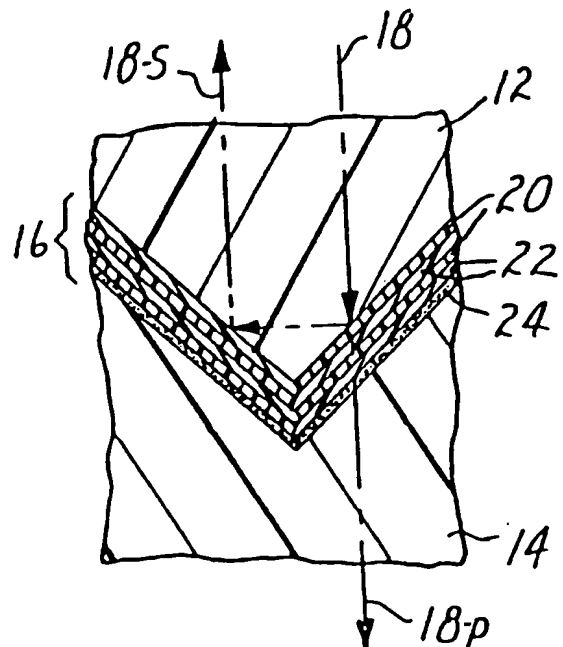
(21)出願番号	特願平5-500872
(86) (22)出願日	平成4年(1992)5月20日
(85)翻訳文提出日	平成5年(1993)12月13日
(86)国際出願番号	P C T / U S 9 2 / 0 4 2 7 1
(87)国際公開番号	W O 9 2 / 2 2 8 3 8
(87)国際公開日	平成4年(1992)12月23日
(31)優先権主張番号	7 1 4 , 6 8 8
(32)優先日	1991年6月13日
(33)優先権主張国	米国 (US)
(81)指定国	EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IT, LU, MC, NL, SE), BR, CA, JP, KR

(71)出願人	ミネソタ・マイニング・アンド・マニュファクチャリング・カンパニー アメリカ合衆国、ミネソタ55133-3427、セント・ポール、ポスト・オフィス・ボックス33427、スリーエム・センター (番地の表示なし)
(72)発明者	ウェーバー、マイケル・エフ アメリカ合衆国、ミネソタ55133-3427、セント・ポール、ポスト・オフィス・ボックス33427 (番地の表示なし)
(74)代理人	弁理士 青山 篠 (外2名)

(54)【発明の名称】 再帰反射偏光子

(57)【要約】

再帰反射偏光子は、構造化材料上に塗布された光学的な薄膜からなり、入射光線を、偏光された成分(18-s, 18-p)、即ち、偏光子を通る1つの成分(18-p)と、光源に戻るもう一方の成分(18-s)へ分離する。



1. (a) 並んで配列された本質的に直角の2等辺の係数のプリズムの直線的な配列からなる構造化表面を有し、この構造化平面と反対の平滑な表面への接面に関してほぼ45°の角度を形成する垂直な係数の面を有する第1の材料と、

(b) 本質的に第2の材料と同じ第2の材料と、

(c) 少なくとも1つの材料の構造化平面上にあり、選択された光学的な厚さの高屈折率材料及び低屈折率材料の交互に重なる層からなる少なくとも1つの光学的な堆積とからなり、

第1及び第2の材料は、全て光学的に接合され、単一ユニットを形成し、この単一ユニットにおいて、第1及び第2の材料の屈折率及び上記光学的堆積の複数の層の上記屈折率及び光学的厚さは、偏光された光の選択的な反射を生成するように全て選ばれて、

(d) 上記光学的な堆積の1部の内部において、混合された偏光の入射光線が、s-偏光成分及びp-偏光成分に分離され、

(e) 上記s-偏光成分は、上記光学的な堆積の他の部分で反射され、その部分で入射光線に平行に反射されるが、入射光と逆の方向に進み、

(f) 上記p-偏光成分は、入射光線に対して平行に透過することを特徴とする再帰反射偏光子。

2. 共通の光軸に沿って設けられた

(a) 混合された偏光の入射光の光源と、

(b) 反射板と、

(c) 1/4波長遅延板と、

(d) 請求項1の再帰反射偏光子

(e) 偏光された光を用いる表示装置からなり、

p-偏光成分は、表示装置に伝送され、s-偏光成分は、1/4波長遅延板を反射板に通り返し、1/4波長遅延板を通過して戻り、表示装置に進む前に、第2のp-偏光成分となる光学システム。

過される一方、s-偏光成分は、入射角に等しい角度で薄膜堆積から反射される。入射方向からのs-偏光成分の方向における全体的な変化は、立方体偏光子に対して90°、及び平板偏光子に対しては通常は約60°である。このように、もし、追加の光学部材が、s-偏光成分を再び向け直すために使用されなければ、s-偏光成分は、典型的には後の使用に用いることができず、利用できる光の全体的な強度の減少を招く。例えば、(ゴールドンバーグ (Goldenberg) 等による) 米国特許4,913,529号には、両成分を再結合する2個の反射板、偏光回転子及びプリズムを用いる液晶支持体(LCD)テレビジョン投影システムが開示されている。

そのようなシステムは、オーバーヘッドプロジェクターのような多くの普通の映像表示システム、特に、薄い形状が要求されるポータブルもしくはラップトップのコンピュータの表示に用いるのには、好ましくない大きさである。

発明の説明

本発明は、

(a) 並んで配列された本質的に直角の2等辺の係数のプリズムの直線的な配列からなる構造化表面を有し、この構造化平面と反対の平滑な表面への接面に関してほぼ45°の角度を形成する垂直な係数の面を有する第1の材料と、

(b) 本質的に第2の材料と同じ第2の材料と、

(c) 少なくとも1つの材料の構造化平面上にあり、選択された光学的な厚さの高屈折率材料及び低屈折率材料の交互に重なる層からなる少なくとも1つの光学的な堆積とからなり、

第1及び第2の材料は、全て光学的に接合され、単一ユニットを形成し、この単一ユニットにおいて、第1及び第2の材料の屈折率及び上記光学的堆積の複数の層の上記屈折率及び光学的厚さは、偏光された光の選択的な反射を生成するように全て選ばれて、

(d) 上記光学的な堆積の1部の内部において、混合された偏光の入射光線が、s-偏光成分及びp-偏光成分に分離され、

技術分野

本発明は、構造化された表面をもつ基板上に塗布された薄膜の堆積を偏光することに関する。

背景

マクネイル (MacNeille) 偏光子は、大きな基板材料上に配置された1対の薄膜材料の交互に繰り返す層からなる。1対の薄膜材料は、1つの低屈折率材料及び1つの高屈折率材料からなる。上記2つの屈折率は、マクネイル対と呼ばれ、与えられた光線の入射角に対し、p-偏光(r_p)に対する反射率は、各薄膜の界面において本質的に0であるように、選定される。r_pが0である角度は、ブリュースター角と呼ばれ、このブリュースター角を屈折率の数値に関連づける公式は、マクネイル条件と呼ばれる。s-偏光(r_s)の反射係数は、各薄膜の界面において0ではない。そのため、薄膜層が更に追加されるにつれ、s-偏光の全反射率は増加する一方、p-偏光の反射率は依然として本質的に0である。このように、偏光されていないライトビーム、即ち薄膜の堆積上への入射光は、いくらか、もしくは全てのs-偏光成分が反射される一方で、本質的に全てのp-偏光成分が透過される。

そのような薄膜の堆積は、2つの一般的な型の基板上に蓄積される。基板は、更に液浸もしくは非液浸のいずれかとして製造され、偏光子の型を分類する。例えば、もし、薄膜が、直角(ボロ)プリズムの斜辺側を形成する平面上に蓄積され、同じ一のプリズムの同様な面に接着されるならば、偏光子は、液浸偏光子である。薄膜が、透明媒体の2つの面状平板(planar slab)の間に接着されたならば、偏光子は、非液浸偏光子である。一般的に、バルクの形成用樹脂の形状が、薄膜材料m₁における光線の液浸定数n₁*sin(θ₁)に影響を与えない場合、偏光子は、非液浸である。

液浸もしくは非液浸偏光子の何れに対しても、入射光線のp-偏光成分は、透

(e) 上記s-偏光成分は、上記光学的な堆積の他の部分で反射され、その部分で入射光線に平行に反射されるが、入射光と逆の方向に進み、

(f) 上記p-偏光成分は、入射光線に対して平行に透過することを特徴とする再帰反射偏光子。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の好ましい1実施例の一部の断面図である。

図2は、図1の実施例の一部の拡大断面図である。

図3は、本発明を用いる光システムの概略図である。

図4は、本発明の1実施例に入射する光の透過及び反射率のグラフである。

発明の詳細な説明

図1及び図2は、発明の再帰反射偏光子10を示す。この再帰反射偏光子10は、2枚の透明基板12及び14からなり、この2枚の基板の間には、合成光学堆積16が存在する。

基板12、14は、それぞれ(互いに面する)構造化表面及び非構造化表面とを備える。図に示すように、基板12は、上部層であり、また基板14は支持体であるが、全体の組立品は、機能性の低下を伴わずに逆にでき、2つの基板の役割を本質的に交換する。

この実施例が示すように、合成光学堆積16は、上部の基板12の構造化表面上に蓄積され、下部の基板14は、単一ユニットを形成するために接着剤24により合成光学堆積16に光学的に接合される(即ち、透明接着剤の非常に薄い層により接着される)。しかし、合成光学堆積は、接着剤24をその間に備える2つの副堆積から構成することができる。ここで、一方の上記副堆積は上部層に接して配され、もう他方の上記副堆積が基板上に配される。

合成光学堆積は、相互に比して低い屈折率及び高い屈折率を有する材料の複数の交互の対からなる少なくとも1組からなる。層の厚さは、1/4波長の基準が各層20及び22により入射平行光線18の波長に対して満たされているように選ばれる。構造化表面の形状、基板材料の光学的特性、及び合成光学堆積の性質

は、全て結合して、入射光線を2つの偏光成分に分割する。一方の成分18-sは、再帰反射、即ち、光線18の光源に沿って帰るよう方向づけられるように、2回反射される。他の成分18-sは、入射ビーム18に対して平行に透過される。

(図2において、入射光18の成分18-s及び18-pへの分割は、基板及び合成光学堆積の間の最初の界面で生じるように示されているが、これは、図示のみのためである。実際には、若干の分割は、薄膜間の各界面において起こり、図示されるような正味の結果を生じる。)

図示する本実施例では、合成光学堆積は、1対の材料が繰り返す堆積からなる。一方の材料は、比較的低い屈折率(n_1)の材料20であり、もう一方の材料は、比較的高い屈折率(n_2)の材料22である。そのような堆積16の構成は、(HL)²と略される。一般的に、(HL)²堆積のような、より多くの層が用いられ、一般的に各材料の平均の光学的な厚さは、興味ある選ばれた波長(典型的に可視スペクトルにおいて、しかし、可視スペクトルである必要はない)に関連し、1/4波長である。しかし、機能を最も発揮させるため、全ての薄膜のそれぞれの厚さは、周知の原理に従って、所望する値を計算する商業的に利用できるソフトウェアを用い、平均の厚さからわずかに変更される。

また、(H₁L₁)²+(H₂L₂)²のような、材料もしくは平均の厚さの2つ以上の対が用いられるもよい。これは、発明の有用な光学的バンド幅即ち発明が本質的に全てのs-偏光された光を反射する角度の範囲を拡大するために使用される。

基板12及び14のそれぞれは、透明の、好ましくは、並んで配列された本質的に直角の2等辺のプリズムの直線形配列からなる構造化表面を有する一体の(即ち、組立品または積層品に対するものとしての単一の連続する部品)材料を構成する。各プリズムの垂直複数の面側は、構造化表面の反対側の滑らかな表面に関して(もしくは、より一般的な可塑性基板において、構造面に接する面に関して)ほぼ45°の角度を形成する。45°以外の角度は、他の用途に利用できるが、

より大きな屈折率の材料は、ポリスルホン(及びポリエーテルスルホン及びポリアリールスルホンのような変形)、ポリエチレンテレフタレート(PET)、及びポリエチレンナフタレート(PEN)を含む。スルホンは、高い処理温度を必要とするが、一方で、より高い周囲温度での使用に耐える。PET及びPENは、結晶化し、もしくは処理パラメータに依存する複屈折を示す。全てのこれらの材料は、1.63~1.65の範囲内の屈折率を有し、そのため、SiO₂/TiO₂の薄膜対の使用を可能にする一方で、p-偏光された光の高い透過を保持する。

適切な材料は、米国特許4,805,984号(コブ、ジュニア(Cobb, Jr.))により開示される。しかし、この発明において、材料の光学的な性質は、この発明に用いられた際、大きく変化するもので、材料の全体の内面反射特性は、関係しない。

薄膜20及び22に通した材料は、関心のスペクトルにおいて、(低い吸収を示す)透明などな材料をも含む。高帯域可視光に対して適切な薄膜材料は、二酸化シリコン(SiO₂)($n=1.45$)と、非晶質水素含有窒化シリコン(a-Si₃N₂H)($n=1.68\sim2.0$)と、二酸化チタン(TiO₂)($n=2.2\sim2.5$)と、フッ化マグネシウム(MgF₂)($n=1.38$)と、水晶石(Na₃AlF₆)($n=1.35$)と、硫化亜鉛(ZnS)($n=2.1\sim2.4$)と、酸化ジルコニウム(ZrO₂)($n=2.05$)と、酸化ハフニウム($n=2.0$)と、窒化アルミニウム($n=2.2$)である。窒化シリコン(Si₃N₄)は、通しているが、好ましいポリカーボネートの基板上でうまく形成されない。

幾つかの薄膜蒸着技術は、基板上に合成光学堆積を蒸着するのに用いることができる。熱及び電子ビーム蒸着、及びイオンビームスパッターは、精密な光学的コーティングのための選択される方法であり、後者の方法は、基板への接着、硬度、及び環境の安定性に関して優れた薄膜を生成する。また、マグネトロンスパッターは、ガラス上の反射防止コーティングのような高帯域コーティングに対して

45°付近(例えば、40°~50°)の角度が、本発明において好ましい。これは、光学的な堆積の設計上の制約を課す。即ち、3つの屈折率(光学的な堆積の n_1 及び n_2 と、基板の n_0)の2つだけが、独立して選択できる。(もう一つの制約は、p-偏光された光の高い透過が全ての波長で要求されるならば、 n_1 は、常に n_0 よりも小さいことである。)これらの値は、各材料の界面のブリュースター角を、界面を形成する材料の屈折率の数値に関連づけるマクネイル条件により決定される。即ち、 θ_0 を θ_1 及び θ_2 に関連づけるスネルの(Snell's)の法則により、

$$\tan(\theta_1) = (n_2/n_1)$$

もしくは、

$$\tan(\theta_2) = (n_1/n_2).$$

理論的には、 n_2 及び n_1 の値の無限の集合が、与えられた n_0 に対して存在する。しかし、実際では、基板及び薄膜用の材料の利用することのできる選択は、限定され、本発明の設計は、 n_0 の値あたりの n_2 及び n_1 の値の限られた集合の中からどれが所望する結果を生成するかの選択に狭められる。 n_2 及び n_1 の間が大きいほど、本発明が入射光を分離した偏光に分割する光学的なバンド幅が広くなる。

基板の適切な厚さは、滑らかな表面から溝の最も低い点まで0.36ミリメートルである。適切な溝の高さ(真正に測定されたもの)は、0.18mmである。そのような薄膜では、1センチ当たり28個のピークが望ましいが、寸法においては広い自由度がある。

好ましい基板材料は、可塑性で、均一で、等方的である。適切な材料は、それぞれ1.49及び1.59の公称屈折率の市販のアクリル樹脂及びポリカーボネートを含む。他に用いることのできる材料は、要求された機能を提供するように選択され、ポリプロピレン、ポリウレタン、ポリスチレン及び塩化ビニルを含む。一般的に、ポリウレタンは、比較的高い屈折率、透明度、及び物理的性質のため、好ましい。

広く用いられ、特に立体ガラスのような広い分野への適用に用いられる。しかし、全体的に、熱及び電子ビーム蒸着は、良好な品質の薄膜及び容認できる製造速度に対する十分に高い蒸着速度を提供するはずである。より重要なことは、フッ化マグネシウム及び水晶石のような低い屈折率の薄膜は、他の方法により蒸着することである。電子ビーム蒸着は、二酸化チタン、酸化ジルコニウム、酸化ハフニウム、及び窒化アルミニウムのような高い屈折率の材料に対し、コーティング産業において通常に用いられている。

発明を実施するための方法は、プラズマ補助化学的蒸着(PACVD)であった。PACVDの使用により、以下の手順及び結果としての生成物が可能である。

二酸化シリコンは、約50~100(watt/ft²)の電極領域で低出力RFプラズマを使用し、50及び250ミリTorr間にある酸素もしくは亜酸化窒素を用いたPACVD処理においてシラン(SiH₄)もしくはほとんど任意の有機シランを反応して蒸着される。亜酸化窒素は、気相において一般により少ない粒子生じるため、いくぶん好ましい。

TiO₂は、同一の出力レベルにおいて、酸素及び亜酸化窒素を用いて四塩化チタン(TiCl₄)を反応することにより形成できる。TiCl₄蒸気の与えられた流れに対するO₂及びN₂Oの相対的源流及び絶対的流量の双方を変化することにより、薄膜の屈折率は、容易に2.0から2.4に変化される。薄膜内の残留塩素は、ポリカーボネートへの不十分な接着を生じる。反応性気体を数倍越える酸素の流れが好ましい。

可視的に透明なa-Si₃N₂H材料は、蒸着温度の関数として主に変化する屈折率を有し、250℃以上の温度を要求するより高い屈折率を有する。薄膜は、シラン、アンモニア、窒素の混合物より蒸着される。高い屈折率の薄膜(即ち、シラン、不十分な窒素、存在しないアンモニア)に対して適切な状態から低い温度で形成された薄膜は、所望しない青い光の大きな吸収を生じる。低い屈折率の薄膜は幾分もういけれども、低い光学的吸収を有し、100℃より下でポリカーボネート上に1.68と1.8との間の屈折率を有する薄膜を形成することは可

能である。

PACVD法は、米国特許4,841,908号及び4,874,631号(双方ともジャコブソン等による)による蒸着システムを用いて実行された。簡単に言えば、このマルチ・チャンバー蒸着システムは、異なる組成の層に対する複数の蒸着チャンバーを含む大きな容積の真空チャンバーを採用し、各チャンバーは、隣接する蒸着チャンバーからのドーパント気体の逆流を最小限にするための独立したシールを有する。基板の連続的ロールは、各蒸着チャンバーを通る供給ロールから、最終の取出しロール上へと進む。ウェブ輸送の方向は、反復する屈折率材料の多重層を生成するために繰り返し逆になる。

接着剤24の屈折率(n_a)は、上部及び下部基板12及び14の屈折率に可能な限り近くに整合されるべきである。接着剤の屈折率が隣の基板の屈折率より小さいとき、接着剤の0でない厚さは、元的光線方向から離れた光の幾つかの屈折を招く。 $n_a=1.56$ の接着剤は、ノーランドカンパニー(Norlund Company)から入手することができる。適切な接着剤は、ノーランド番号61及び81の光セメント($n_a=1.56$)である。他の紫外硬化性樹脂($n_a=1.50$)は、ミネソタ・マイニング・アンド・マニュファクチャリング・カンパニー(Mine-sota Mining and Manufacturing Company)の41-4201-91185番の、1% (重量)のスルフォニウム塩開始剤を用いて、ユニオン・カーバイド(Union Carbide) ERL 4221番のエポキシ樹脂から形成することができる。上記開始剤は、エポキシとの混合の前に蒸発されねばならない塩化メチレンに溶解される。他のUV硬化性混合物は、好ましくないが、ウレタンアクリレートに基づく樹脂、ジアクリレート希釈剤、及び適当な光開始剤から生成することができる。UV硬化性接着剤は、主にスペクトルの青色の終端において、約1~2%の完成された偏光子において、わずかな吸収を起こすであろう。どの熱硬化性の接着剤もしくはエポキシも、もし低い光吸収及び高い屈折率を有するならば、うまくいく。

実施例

コンピュータで計算された透過率の角度依存性は、450nmの波長に対し、 θ の正及び負の値に対するp-偏光透過の非対称性を示す。これは、基板表面から45°でのプリズム小面の傾斜から発生する。これに対し、角度 θ は、外部表面に対する法線から空中で測定される。偏光子を通る全体の透過は、相補的角度で2つの向かい合う小面を通る2つの透過の合計である。双方の項が考慮されるとき、透過曲線は対称的になる。なお、第2プリズムで側部へ透過された光からの第3の及びより高次の反射率は、同様に考慮できるが、曲線の形状に大きな影響はもたない。

使用法

本発明は、偏光されていない光源から得られる偏光された光の強度の増加から利益をうける偏光を要求する用途、特に、比較的大きな範囲にわたる偏光された光を要求する、及び/または比較的小型(特に薄い)な用途に適する。

例えば、本発明にかかる再帰反射偏光子は、入射光線の2つの成分を単一の偏光の成分に再結合するための1/4波長遅延板、及び反射板を用いて、非常に簡単な手法で結合できる。そのような配置は図3に示される。結合された反射板及び入射光118の光源は、130としてつづいて示される。入射光118は、合成された偏光を有し、1/4波長遅延板により影響を受けないが、再帰反射偏光子100により成分118-p及び119-sに分割される。成分118-pは、表示装置110に直接的に伝送される。成分118-sは、119により示される1/4波長遅延板120を通して、後方に再帰反射され、121で示されるように再び1/4波長遅延板を通して後方に反射される(そして成分121として明確に上に横方向に置き換えられる)。1/4波長遅延板を通る2つの光路は、90°の全回転を表す。即ち、成分118-sは、いま成分118-pとして同じ偏光方向を有し、そして、表示装置110の方へ方向づけられる。このため、偏光されていない入射光118のほぼ全ての強度は、表示装置110で偏光された形で利用することができる。

このシステムにおける本発明の大きな利点は、全ての成分が領域内で比較的薄

整合された1/4波長の光学的な厚さからなる交互の薄層の層は、(コブジュニア(Cobb, Jr.))による米国特許4,805,984号に記載される好ましい14ミルの厚さの基板材料のポリカーボネート型の構造化された面に塗布される。例1において、コーティングは、5インチ幅及び8インチ長さの気体「シャワーヘッド」型電極を用い、上で記載されたプラズマ補助化学的蒸着(PACVD)法により実行される。再帰反射偏光子を形成するため、TIR材料の塗布されない基板は、光学的な接着剤を用いて光学的な堆積に接着された。

例1において、上記偏光子は、3つの光学的な堆積を備え、各光学的な堆積は、二酸化シリコン(SiO_2)もしくは二酸化チタン(TiO_2)のいずれかの12個の層を有する。上述のPACVD技術は、溝の底部に対向するプリズム先端近くに均一な薄層厚さを生成することができなかったため、普通でない多くの層が、必須とされた。最初の堆積は、400nmを中心とする1/4波長厚さを有し、次は550nmを中心とする1/4波長厚さを有し、3番目は700nmを中心とする1/4波長厚さを有する。偏光子の特性は、図4に示される。s-偏光成分の透過率T(s)は、ほとんど全ての可視スペクトル中、0もしくはほぼ0である一方、s-偏光成分の反射率R(s)は、最も効率的な普通の反射板の95%のレベルに近づく。p-偏光成分の透過率T(p)は、非常に満足できるものであり、可視スペクトルにおいてほぼ80%以上である。

再帰反射偏光子の角度依存性の詳細を説明することは有益である。第1の特徴は、1つのプリズム小面を通るp-偏光に対する透過率の角度依存性である。角度 θ は、再帰反射偏光子の外部表面に対する単位ベクトル法線から空中で測定される。前提とされる薄層堆積は、入射光の全角度で可視スペクトルを含むように設計された3つの堆積の組み合わせである。角度に対する透過スペクトルは、より大きな波長でより広くなる(650nmで±45°)。この堆積は、28の層からなる。8個の層は、600nmで中心とされ、45°(液浸)であり、各々10個の層の2重堆積は、15°に設計され、450及び600nmの中心波長を有する。

くかつ広く、及び実質的に同一の光軸上に存在するため、システムの外形が大幅に減少できることである。外形の減少が関心がない場合もしくは他の理由で都合がよい場合は、光軸は、一般性を失うことなく再び方向づけることができる。

反射光源130は、バック光コンピュータ支持体の光源でよく、もしくはミネソタ・マイニング・アンド・マニュファクチャから広く利用できるモデルのようなオーバヘッドプロジェクターの光源でもよい。表示装置110は、1以上の複屈折なLCDパネルのグループであり、(コナー等による)米国特許4,917,465号及び(コナーによる)米国特許4,966,441号に開示されるような単色もしくはカラーの用途に使用される。

この応用に対して、屈折率 $n_a=1.586$ のポリカーボネートの支持体を仮定するならば、理想的な最小の薄層屈折率は、 $n_a=2.0$ 及び $n_c=1.35$ である。この屈折率の対を用いて、ポティック(Photonic)に対して(可視スペクトルを完全に含む)の2つの組の再帰反射偏光子のための理論的に最小の合成光学堆積は、8層、即ち、(HL)'+(H'L')'である。1つの組は、425nmを中心とする帯域幅を有し、他の組は、650nmを中心とする帯域幅を有する。水晶石は、最も望ましい低い組($n_c=1.35$)を有するが、柔らかく、わずかに湿りやすいため、フッ化マグネシウム($n_c=1.38$)が好ましい。幾つかの他の材料が適当であるけれども、酸化亜鉛($n_a=2.05$)は、1つの好ましい高屈折率材料である。

